

# Работы по MRPC в ФИАН в 2024 г.

А. Снесарев

19.12.2024.

# Работы в ФИАН

В 2024 г., в соответствии с ранее намеченными планами по тематике SPD, были проведены следующие работы по созданию прототипов время-пролетных камер:

- Найдена отечественная компания, имеющая в доступе необходимое тонкое стекло, имеющая опыт работы с ним и готовая к выполнению предъявляемых требований.
- У компании были получены образцы стекол, сначала широкого спектра толщин —  $0,17 \div 0,5$  мм, потом целенаправленно - толщиной 0,22 мм и 0,35 мм. Среди них были и образцы химически закаленного стекла, которое имеет некоторые достоинства в случае использования.
- Кроме того, у коллег из ИФВЭ были получены образцы стекол толщиной 0,35 мм, 0,5 мм и 0,7 мм, использовавшихся ранее при создании предыдущих время-пролетных камер.
- Технология изготовления камер и используемые при этом материалы были изучены при прямых контактах с коллегами из ОИЯИ и ИФВЭ при неоднократных визитах в Протвино. От коллег были получены рабочие чертежи ранее изготовленных камер, оговорены дальнейшие контакты с целью улучшения и оптимизации процесса изготовления камер, разработки нового прототипа время-пролетной камеры для эксперимента SPD.
- Разработана методика оперативного измерения удельного сопротивления стекла и сделан стенд.

# Измерение удельного сопротивления образцов



- Стенд представляет собой два массивных латунных электрода, расположенные один над другим с системой центрирования и имеющих площадь контакта с измеряемым образцом около  $20 \text{ см}^2$ .
- Для устранения влияния на измерения неровностей поверхности электродов и разнотолщинности стекла дополнительно использовались углеродонаполненные целлюлозные прокладки, размещаемые с двух сторон между электродом и образцом стекла.
- Переходное сопротивление, вносимое прокладками в измерительную цепь, имеет значение на уровне 3-5 Ом.

# Измерение удельного сопротивления образцов



- Для измерения сопротивления использовался пикоамперметр «Keithley» модели 6487 со встроенным источником напряжения, максимальное значение которого составляет 505 В. Точность измерения сопротивления в диапазоне измеренных значений лучше  $\pm 0,6\%$ .
- Измерения сопротивления образца проводились при напряжении внутреннего источника 500 В и затем пересчитывались в удельное сопротивление с использованием известного значения площади электродов и ранее измеренной толщины образца стекла. Для минимизации влияния переходных процессов значения сопротивления считывались через 30 секунд после подачи высокого напряжения.

# Измерение толщин и емкостей

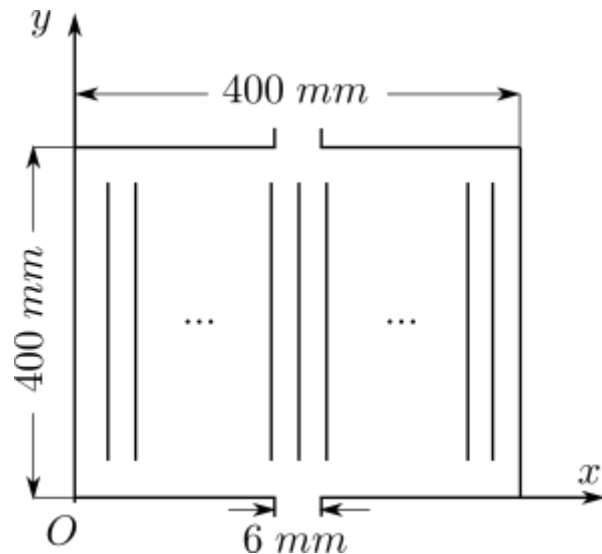
- Измерения толщин стекла проводилось в 9 точках для каждого из образцов с использованием толщиномера «Fischer» модель «Permascope MP0S» (разрешение 1  $\mu\text{m}$ ).
- Диэлектрическая проницаемость стекла определялась как отношение величины измеренной на стенде емкости образца к расчетной величине емкости аналогичного по геометрии плоского конденсатора с вакуумным зазором. Измерение емкости проводилось мультиметром UNI-T модель UT58E на частотах 40 ÷ 400 Гц, точность измерений -3% ÷ +15% для полученного диапазона значений.
- Дополнительно, для сравнения, были исследованы образцы стекол с толщинами 0,35 мм, 0,5 мм и 0,7 мм от коллег из ИФВЭ.

# Результаты измерений образцов стекол

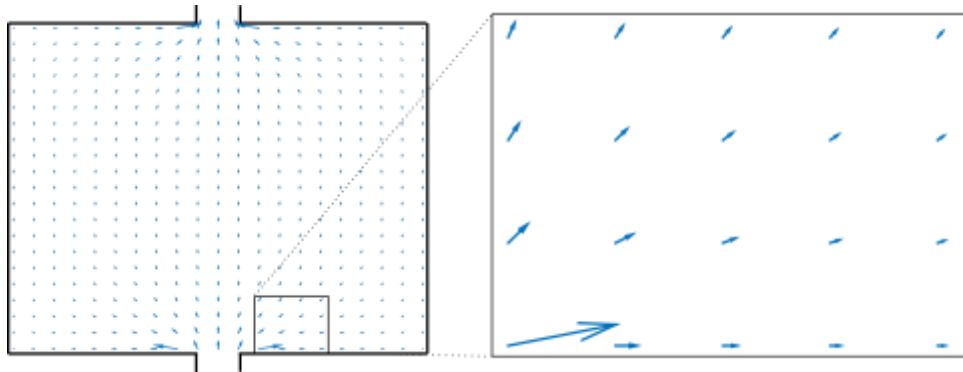
Стекло	Размеры, мм	Толщина средняя, $\mu\text{m}$	Стандартное отклонение, $\mu\text{m}$	Сопротивление, ГОм (U=500 В)	Удельное сопротивление, Ом $\times$ м $\times 10^{10}$	Расчетная емкость, пФ	Измеренная емкость, пФ	$\epsilon$
0,35 П	170 $\times$ 170	337-339	2-3	6,1-8,0	4 - 5	42	313-327	7,4-7,8
0,5 П	170 $\times$ 150	560-570	4-7	17,9-28,6	6 - 10	25	262-278	10,3-10,9
0,7 П	190 $\times$ 170	692-705	5-9	13,0-29,7	4 - 8	20-21	224-243	10,9-11,8
0,22 С	90 $\times$ 90	218-223	2-3	2,0-2,7	2	64-66	370-386	5,7-6,0
0,35 С	130 $\times$ 60	345-350	2-4	8,3-9,1	5	41	310-342	7,5-8,4

# Модель процесса протекания газа в камере

- Используемая в предыдущих прототипах MRPC схема подачи газа в одной точке (один входной штуцер и один выходной) вызвала опасения, что внутри камеры может существовать неравномерность в распределении потоков газа по площади камеры.
- Наш коллега Алексей Дик промоделировал процесс протекания газа в камере.
- Была рассмотрена упрощенная 2-х мерная модель протекания газа через камеру детектора. На рисунке схематически изображены стенки камеры, входной и выходной штуцеры и лески, натянутые между стеклами. В схеме использовались габариты и размеры, близкие к реальным. Диаметр лески - 250 мкм, шаг - 20 мм.



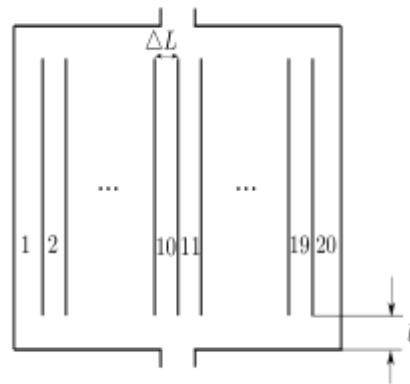
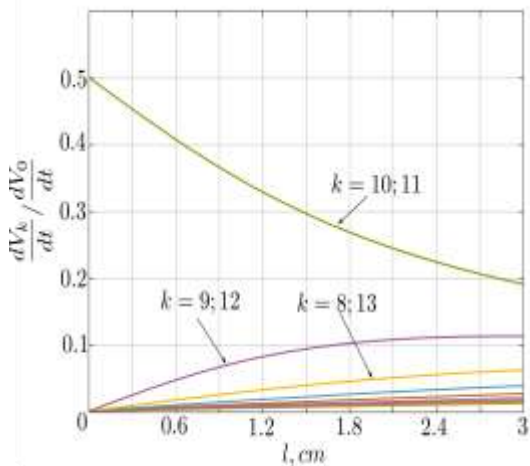
# Модель процесса протекания газа в камере



- Слева представлен график векторного поля скоростей газа в камере при отсутствии разделяющих лесок. Как видно из графика, поле скоростей сильно неоднородно вблизи входного отверстия, а в углах камеры скорость потока стремится к нулю.
- При рассмотрении задачи протекания газа через камеру пренебрегаем изменением плотности газа, не учитываем его вязкость и считаем отсутствующими вихревые потоки. Считаем, что леска не оказывает заметного влияния на поток газа и ограничивает его перетекание из одного канала в ближайшие.



# Модель процесса протекания газа в камере



- В модели был оценен поток газа через каждый из каналов в зависимости от расстояния  $l$  от начала каналов до стенки с входным отверстием. Нумерация каналов - слева направо.

- На графике показана зависимость объема газа за единицу времени, проходящего через каждый из каналов, нормированного на полный объем газа, проходящего через всю камеру, от расстояния между началом каналов и стенкой камеры с входным отверстием. Как видно из графика, потоки через каналы 10 и 11 одинаковы в силу симметрии, так же как и потоки газа через другие симметричные каналы (напр. 9 и 12 и

# Планы

- В соответствии с нашими ранее анонсированными планами в ФИАНе будут собраны прототипы MRPC в количестве 3 шт.
- Как и планировалось ранее, ориентировочный срок изготовления — 1 год с начала финансирования, которое у нас началось с июля 2024 г., т.е. оценочный срок окончания работ — конец лета 2025 г.
- Прототипы MRPC будут собраны по схеме, использовавшейся при создании в Протвино (группой Е. Ладыгина) предыдущих прототипов, т.е. 10 зазоров (20 стекол) с нанесением

# Выводы

- Предварительные результаты измерений имеющихся образцов показали пригодность применения данных стекол для создания MRPC (в части удельного сопротивления стекла и равномерности по толщине).
- Проведено моделирование процесса протекания газа в камере при его подаче в одной точке (один входной штуцер и один выходной). Показано существование серьезной неравномерности в потоке проходящего в камере газа. Для улучшения равномерности требуется изменение схемы подвода и протекания газа в камере. Эти обстоятельства планируется учесть и провести улучшения при конструировании нового прототипа MRPC.
- Была рассмотрена возможность изготовления элементов конструкции MRPC путем печати их на 3D-принтере и было найдено несколько потенциальных производителей работ.
- Частично заказано необходимое оборудование. Заказаны стекла для камер.
- Проведенные в 2024 г. работы заложили основу для успешного изготовления прототипов время-пролетных камер для эксперимента SPD в соответствии с намеченным планом работ.